



PCT/FR 2004/001041

REC'D 20 AUG 2004  
WIPO PCT

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 20 AVR. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE'.

Martine PLANCHE

#### DOCUMENT DE PRIORITÉ

RÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2

DB 540 W / 210502

REMISE DES PIÈCES		Réserve à l'INPI
DATE	7 MAI 2003	
LIEU	75 INPI PARIS B	
N° D'ENREGISTREMENT	0305601	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI	07 MAI 2003	
Vos références pour ce dossier (facultatif) BFF020410		

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire  
**1** NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

### CABINET PLASSERAUD

84, rue d'Amsterdam  
75440 PARIS CEDEX 09

Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie
<b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE		
Demande de brevet	<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité	<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire	<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i>	N°	Date
<i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>	N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>	<input type="checkbox"/>	Date
	N°	
		Date
<b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
CIRCUIT ELECTRONIQUE A TRANSFORMATEUR PIEZO-ELECTRIQUE INTEGRÉ		

<b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»
<b>5</b> DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS -
Prénoms		
Forme juridique		Etablissement Public, Scientifique et Technologique EPST
N° SIREN		<input type="text"/>
Code APE-NAF		<input type="text"/>
Domicile ou siège	Rue	3, rue Michel Ange 75794 PARIS Cédex 16
	Code postal et ville	<input type="text"/>
	Pays	FRANCE
Nationalité		Française
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)
Adresse électronique (facultatif)		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ

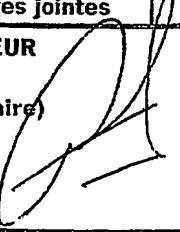
REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 2/2

**BR2**

REMISE DES PIÈCES		Réervé à l'INPI
DATE	7 MAI 2003	
LIEU	75 INPI PARIS B	
N° D'ENREGISTREMENT	0305601	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		

DB 540 W / 210502

<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b>		BFF020410
Nom _____		
Prénom _____		
Cabinet ou Société _____		
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		Cabinet PLASSERAUD
Adresse	Rue	_____
	Code postal et ville	84, rue d'Amsterdam
	Pays	_____
N° de téléphone (facultatif)		75009 PARIS
N° de télécopie (facultatif)		_____
Adresse électronique (facultatif)		_____
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt
		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques
		<input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenu antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG <input type="text"/>
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b>		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		_____
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		
Régis GAREL 02-0303		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  Mme BLANCANEUX



**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

16 | Page

## **BREVET D'INVENTION**

## **CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11354\*03

## **REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**

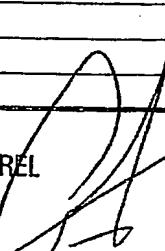
Page suite N° 1 . / . 1

**BR/SUITE**

Réservé à l'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 829 W / 010702

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		BFF020410
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date [ ] N° Pays ou organisation Date [ ] N° Pays ou organisation Date [ ] N°
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN
Prénoms		
Forme juridique		Etablissement Public à caractère scientifique, culturel et professionnel
N° SIREN		[ ]
Code APE-NAF		[ ]
Domicile ou siège	Rue	61, av. du Président Wilson 94235 CACHAN Cedex
	Code postal et ville	[ ]
	Pays	FRANCE
Nationalité		Française
N° de téléphone (facultatif)		
N° de télécopie (facultatif)		
Adresse électronique (facultatif)		
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique
Nom ou dénomination sociale		
Prénoms		
Forme juridique		
N° SIREN		[ ]
Code APE-NAF		[ ]
Domicile ou siège	Rue	
	Code postal et ville	[ ]
	Pays	
Nationalité		
N° de téléphone (facultatif)		
N° de télécopie (facultatif)		
Adresse électronique (facultatif)		
<b>6 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b>		 Régis GAREL 02-0303
		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI

## Circuit électronique à transformateur piézo-électrique intégré.

La présente invention est relative aux circuits  
5 électroniques, notamment aux circuits électroniques pour la  
commande de composants électroniques de puissance.

Plus particulièrement, l'invention concerne un  
circuit électronique muni d'un transformateur piézo-  
électrique destiné à commander un composant électronique,  
10 dans lequel le transformateur comprend une armature primaire  
et une armature secondaire, constituées à partir d'un  
matériau piézo-électrique, et une couche intermédiaire  
isolante, intercalée entre les armatures primaire et  
secondaire, l'armature primaire étant agencée pour  
15 transmettre, en réponse à un signal primaire transmis à  
l'armature primaire via le circuit électronique, un signal  
moteur à l'armature secondaire, à travers la couche  
intermédiaire, l'armature secondaire délivrant au composant  
électronique un signal secondaire, fonction du signal  
20 primaire, pour commander le composant électronique auquel  
l'armature secondaire est connectée.

Il est proposé par les inventeurs, dans l'article  
« Commande de transistor à grille isolée par transformateur  
piézo-électrique », Congrès EPF 2002, Montpellier, France,  
25 Novembre 2002, d'utiliser un tel circuit électronique  
comprenant un transformateur piézo-électrique multicoche,  
dont les armatures primaire et secondaire sont formées  
chacune d'une couche de matériau piézoélectrique munie de  
ses électrodes, pour réaliser une fonction de commande  
30 rapprochée d'un transistor de puissance à grille isolée.  
Dans ce circuit, le transformateur a pour but d'assurer la  
transmission des ordres de commande de façon très fiable et  
avec une excellente isolation galvanique.

La présente invention a notamment pour but de perfectionner ce type de circuit, notamment en proposant une forme concrète d'intégration du transformateur piézo-électrique au circuit électronique comportant le composant 5 électronique à commander.

A cet effet, selon l'invention, on prévoit un circuit électronique qui, outre les caractéristiques précédentes, est caractérisé en ce qu'il comporte une première couche dans laquelle est intégrée l'armature primaire et une deuxième couche dans laquelle est intégrée 10 l'armature secondaire, les première et deuxième couches étant galvaniquement isolées par la couche intermédiaire.

Grâce à ces dispositions, les armatures primaire et secondaire du transformateur piézo-électrique sont 15 respectivement dans les première et deuxième couches pouvant, par exemple, elles-mêmes constituer respectivement des circuits électroniques primaire et secondaire du transformateur.

Dans des modes de réalisation préférés de 20 l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- les première et deuxième couches sont constituées d'un substrat de matériau choisi parmi du circuit imprimé, de la céramique et du semi-conducteur, et 25 supportent chacune une face de circuit imprimé, les armatures primaire et secondaire étant fixées dans des évidements préalablement ménagés respectivement dans chacune des couches ;

- au moins une couche conductrice est intercalée 30 entre les première et deuxième couches ;

- le composant électronique est un transistor de puissance intégré à la deuxième couche et comportant une grille recevant le signal secondaire ;

- la première couche comporte un circuit primaire comprenant un modulateur connecté à l'armature primaire, et adapté pour former le signal primaire avec une modulation d'au moins un signal porteur par un signal de commande, et  
5 pour délivrer à l'armature primaire le signal primaire ainsi formé, et la deuxième couche comporte un circuit secondaire comprenant un démodulateur, connecté entre l'armature secondaire et le composant électronique, et adapté pour transmettre à ce composant électronique un signal démodulé à  
10 partir du signal secondaire correspondant au signal de commande (la modulation du signal porteur par le signal de commande peut être une modulation d'amplitude ou de fréquence) ;

- le circuit secondaire comprend en outre un dispositif de redressement, connecté entre l'armature secondaire et le démodulateur, et adapté pour redresser le signal secondaire délivré par l'armature secondaire ;

- le circuit secondaire comprend en outre un dispositif de verrouillage connecté entre le démodulateur et  
20 le composant électronique, et adapté pour délivrer au composant électronique un signal démodulé fiabilisé ;

- le circuit électronique comprend un oscillateur adapté pour délivrer au modulateur le signal porteur à une fréquence proche d'une fréquence de résonance mécanique du  
25 transformateur ;

- l'oscillateur est adapté pour délivrer un signal porteur à une fréquence proche de la fréquence du deuxième mode propre de vibration du transformateur ;

- les armatures primaire et secondaire sont  
30 formées à partir d'un matériau piézo-électrique polarisé selon l'épaisseur ;

- le composant électronique est un transistor MOSFET ou IGBT ;

- le circuit électronique comprend en outre une armature primaire piézo-électrique supplémentaire intégrée à la première couche et une armature secondaire piézo-électrique supplémentaire intégrée à la deuxième couche 5 reliée à un composant électronique supplémentaire, les composants électroniques étant connectés pour réaliser un bras de pont complet.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante 10 d'une de ses formes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

Sur les dessins :

- la figure 1 est une coupe schématique d'un exemple de circuit électronique imprimé de commande, 15 conforme à l'invention et intégrant un transformateur piézo-électrique,

- la figure 2 est une vue schématique du mode de vibrations dans l'épaisseur du transformateur piézo-électrique du circuit électronique de la figure 1, 20

- la figure 3 représente schématiquement en perspective un transformateur piézo-électrique, tel que celui intégré au circuit de la figure 1,

- la figure 4 représente un schéma électrique simplifié du transformateur représenté sur la figure 3,

25 - la figure 5 représente le schéma électrique du circuit de la figure 1, et

- la figure 6 représente un autre exemple de circuit de commande rapprochée de grille de transistor, selon l'invention.

30 Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

La figure 1 représente un exemple de circuit électronique 1 selon l'invention. Selon cet exemple, il

s'agit d'un circuit imprimé 1, par exemple à base d'un substrat isolant en époxy, alumine, ou autre. Il comporte une première couche 2, et une deuxième couche 5. Les première 2 et deuxième 5 couches portent chacune une face de circuit imprimé tournée vers l'extérieur. Sur l'une 21 des faces est réalisé un circuit électronique primaire, sur l'autre 51 est réalisé un circuit électronique secondaire. Ces deux circuits primaire et secondaire sont isolés, électriquement par une couche intermédiaire 6 constituée par une plus ou moins grande épaisseur du matériau constitutif des première 2 et deuxième 5 couches.

Entre les première 2 et deuxième 5 couches est en outre, selon l'exemple de mode de réalisation présenté ici, insérée une couche conductrice 6a. Cette couche conductrice 6a réalise un écran électrostatique entre les première 2 et deuxième 5 couches.

Les circuits primaire et secondaire portent un ou plusieurs composants électroniques primaire 3 et secondaire 9.

Les première 2 et deuxième 5 couches ont une épaisseur comprise entre environ 0,5 mm et 2 mm. Ces première 2 et deuxième 5 couches présentent chacune un évidemment 13 préalablement ménagé, dans lequel est fixée une armature primaire 4 ou secondaire 8.

Ces armatures primaire 4 et secondaire 8 sont constituées par exemple de Zircono-titanate de Plomb (PZT) et présentent une forme cylindrique ou parallélépipédique globalement plane, par exemple, avec une surface A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et une épaisseur e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub> proche de l'épaisseur de la première couche 2, de la deuxième couche 5, respectivement.

Les surfaces respectives A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> des armatures primaire 4 et secondaire 8 sont sensiblement égales. Par contre, les épaisseurs respectives e<sub>1</sub> et e<sub>2</sub> des armatures

primaire 4 et secondaire 8 peuvent être différentes.

Les armatures primaire 4 et secondaire 8 comportent une face interne 42, 82 tournée vers l'autre armature, lorsque celles-ci sont en place dans leurs évidements 13 respectifs. De même, les armatures primaire 4 et secondaire 8 comportent une face externe 41, 81 opposée aux faces internes 42, 82 et affleurant sensiblement au niveau des circuits respectivement primaire et secondaire du circuit électronique 1. Les armatures primaire 4 et secondaire 8 sont ainsi placées de façon à ce que, lorsque visualisées selon une direction normale aux faces primaire et secondaire du circuit électronique 1 (par exemple dans le sens de la double flèche sur la figure 1), les armatures primaire 4 et secondaire 8 se superposent sensiblement.

Les armatures primaire 4 et secondaire 8 sont en outre recouvertes, sur au moins une partie de chacune de leurs faces interne 42, 82 et externe 41, 81 d'une métallisation 7 permettant d'y apposer des contacts électriques.

La fixation des armatures primaire 4 et secondaire 8 dans leurs évidements 13 se fait par exemple par cofrillage en plaçant dans le moule de fabrication du circuit une poudre piézoélectrique, la couche isolante et les métallisations, et en mettant sous presse.

La fixation peut également se faire par collage de la face interne 42, 82 d'armatures réalisées séparément sur le substrat époxy respectivement des première 2 et deuxième 5 couches. Pour réaliser le collage, on pourra préférentiellement utiliser une colle ayant des propriétés thermiques et mécaniques appropriées à ce type d'application, à savoir des propriétés de résistance thermique à l'échauffement, une grande dureté et une bonne tenue en tension. Il s'agit par exemple d'une colle époxy.

L'armature est en outre polarisée de façon à vibrer dans son épaisseur lorsqu'elle est soumise à un courant électrique alternatif.

Les armatures primaire 4 et secondaire 8 sont 5 distantes d'environ 0,1 à 1 mm. Entre elles, se trouve la couche intermédiaire 6, avec sa couche conductrice 6a enterrée.

La couche conductrice 6a est par exemple constituée de cuivre ou de tout autre matériau permettant de réaliser 10 un écran électrostatique.

Les armatures primaire 4 et secondaire 8 ainsi intégrées dans un circuit imprimé et séparées par un écran électrostatique constituent un transformateur 100 piézo-électrique intégré.

15 Le transfert de puissance fourni par ce transformateur 100 s'effectue en transformant tout d'abord au niveau de l'armature primaire 4 de l'énergie électrique en vibrations mécaniques dans l'épaisseur de l'armature primaire 4. Cette vibration mécanique engendre la vibration 20 du ou des matériau(x) intercalé(s) entre les armatures primaire 4 et secondaire 8, et de l'armature secondaire 8. On récupère au niveau de l'armature secondaire 8 ces vibrations sous forme d'énergie électrique. En conséquence, il n'y a aucun couplage électromagnétique dans ce type de 25 transformateur, ce qui est favorable, en termes de normes de compatibilité électromagnétique.

Un tel transformateur 100 intégré peut être utilisé pour mettre en œuvre, avec une excellente isolation galvanique, une fonction de commande rapprochée de 30 transistor de puissance, tel un transistor MOSFET, un transistor IGBT, ou tout autre semi conducteur de puissance.

On utilise par exemple un transformateur 100 dont les armatures primaire 4 et secondaire 8 sont identiques en

matériau, surface et épaisseur, et sont polarisées dans l'épaisseur, tel que représenté schématiquement sur la droite de la figure 2.

On excite ce transformateur 100 à une fréquence 5 correspondant à son deuxième mode de vibration. On obtient alors les variations de contraintes (c) et de déplacement (d) le long de l'épaisseur représentées sur la gauche de la figure 2. Avec ce deuxième mode de vibration, les contraintes sont faibles dans la couche intermédiaire 6 sur 10 laquelle sont collées les armatures primaire 4 et secondaire 8, ce qui est bénéfique au plan des risques de décollement. Par contre, la couche intermédiaire 6 subit un déplacement maximal.

On peut adapter le mode de vibrations à la géométrie 15 dans l'épaisseur du transformateur afin de respecter cette condition de faibles contraintes dans la région où les collages sont effectués. Cette adaptation peut être souhaitable notamment lorsque les armatures primaire 4 et secondaire 8 n'ont pas des épaisseurs  $e_1$  et  $e_2$  identiques. 20 On n'est cependant pas tenu de respecter à tout prix cette condition, par exemple si la résistance du collage est suffisante.

Les performances et caractéristiques techniques d'un tel transformateur 100 sont fortement liées aux 25 caractéristiques mécaniques et physiques du type de matériau utilisé, et aux dimensions des éléments constitutifs du transformateur 100.

Si on a une connaissance a priori du type d'application pour lesquelles le transformateur 100 est 30 susceptible d'être employé, on peut dimensionner celui-ci en fonction.

Comme représenté sur la figure 3, une tension  $V_1$  est appliquée à l'armature primaire 4 du transformateur 100

(représenté de manière purement illustrative comme cylindrique), de dimensions  $e_1$  et  $A_1$ , et une tension  $V_2$  est obtenue au niveau de l'armature secondaire 8, de dimensions  $e_2$  et  $A_2$ . On peut ou non tenir compte de la couche 5 intermédiaire, d'épaisseur  $e_3$ , de superficie  $A_3$  lors du dimensionnement.

Au cours d'un fonctionnement dans ces conditions, les pertes mécaniques dans le transformateur 100 se traduisent par un dégagement de chaleur  $\Delta\theta$ , qu'il peut être 10 utile de maîtriser pour le bon fonctionnement de l'ensemble du circuit électronique 1. Pour y parvenir, il est possible d'appliquer la modélisation suivante.

On utilise le schéma électrique de la figure 4 qui est équivalent au transformateur 100 dans ses modes de 15 résonance, comme décrit dans « Piezoelectric transformer operating in thickness extensional vibration and its application to switching converter », PESC 94, Zaitsu et al. Dans ce schéma, les valeurs des inductances  $L$ , résistances  $R$ , et capacités  $C$ ,  $C_0^1$  et  $C_0^2$  sont liées aux caractéristiques 20 physiques et mécaniques du transformateur 100. La résistance  $R_L$  désigne quant à elle la résistance de charge du transformateur 100. Pour simplifier, les détails du dimensionnement sont donnés pour deux armatures primaires 4 et secondaires 8 dont les matériaux sont identiques, mais 25 peuvent être facilement transposables à des armatures primaires 4 et secondaires 8 dont les matériaux sont différents.

Géométriquement, chaque armature 4 ou 8 est caractérisée par son épaisseur  $e_1$ ,  $e_2$  et son aire  $A_1$ ,  $A_2$ . Le 30 matériau est physiquement caractérisé par son module d'élasticité dans l'épaisseur  $c_{33}^D$ , sa permittivité  $\epsilon_{33}^S$ , son coefficient piézo-électrique  $e_{33}$ , sa densité  $\rho$ , son facteur de qualité mécanique  $Q_m$ , un coefficient de convection au

sein du matériau  $h_c$ , et un coefficient de couplage électromécanique  $k_t$ .

Dans un modèle de Mason, le couplage entre les caractéristiques géométriques et physiques de chaque 5 armature est représenté par un transformateur parfait, dont

le gain  $\Psi_1 \Psi_2$  s'exprime par exemple par  $\Psi_1 = \frac{A_1}{e_1} e_{33}$ . Dans le modèle présenté, ces deux transformateurs parfaits sont regroupés en un seul, désigné par  $\Psi$ .

Pour un tel transformateur, les caractéristiques 10 mécaniques et physiques peuvent être reliées aux propriétés électriques du circuit équivalent de la figure 4 par les équations suivantes :

$$C^1_0 = \varepsilon_{33}^S * A_1 / e_1, \quad C^2_0 = \varepsilon_{33}^S * A_2 / e_2,$$

$$L = (e_1 + e_2 + e_3) e_1^2 \rho / 8 A_1 e_{33}^2$$

$$15 \quad C = A_1 e_{33}^2 / \pi^2 e_1 C_{33}^D,$$

$$R = [1 / Q_m] * (L / C)^{1/2}, \text{ et}$$

$$\Psi = A_1 e_2 / A_2 e_1.$$

Par la suite, on s'intéresse de manière purement 20 illustrative à un transformateur, dont les deux armatures possèdent la même superficie  $A$  ( $A_1 = A_2 = A$ ) et dont les épaisseurs  $e_1$ ,  $e_2$  sont grandes devant l'épaisseur  $e_3$  de la couche intermédiaire ( $e_1 + e_2 + e_3 \approx e_1 + e_2$ ), mais on peut tout à fait effectuer les opérations ci-dessous dans un exemple général.

25 En court-circuit, le transformateur présente une pulsation propre  $\omega_s = 1 / (L C)^{1/2}$ .

Pour prendre en compte l'état de charge du transformateur, on peut introduire un facteur de qualité électrique  $Q$  dépendant de la résistance de charge  $R_L$  30 équivalente du circuit auquel la puissance est à transmettre :

$$Q = 1 / R_L C_0^2 \omega_s.$$

On peut également introduire un rapport  $c$  représentant la fraction d'énergie mécanique convertible en énergie électrique au secondaire :

$$c = \Psi^2 C_0^2 / C = (\pi^2 / 2k_t^2) (e_2 / (e_1 + e_2)) - (e_1 + e_2) / e_2.$$

5 On peut estimer une pulsation  $\omega_R$  de résonance du circuit entier prenant en compte la résistance de charge, par l'expression suivante liant  $\omega_R$ ,  $c$  et  $\omega_s$  :

$$\frac{\omega_R^2}{\omega_s^2} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{c} - Q^2 \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left( 1 + \frac{1}{c} - Q^2 \right)^2 + Q^2}.$$

En fonction de ces différents paramètres du circuit, 10 et de la tension  $V_1$  et la pulsation  $\omega_R$  d'utilisation, on peut exprimer la puissance transmise  $P_2$ , le gain  $G$  et le rendement  $\eta$  du transformateur 100 comme suit :

$$G = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\psi}{\sqrt{\left[ 1 - c \left( \frac{\omega_R^2}{\omega_s^2} - 1 + \frac{Q}{Q_m} \right) \right]^2 + \left[ \frac{c}{Q_m} \frac{\omega_R}{\omega_s} + cQ \left( \frac{\omega_R}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega_R} \right) \right]^2}},$$

$$P_2 = \frac{\frac{V_1^2}{R} c \frac{Q}{Q_m}}{\left[ 1 - c \left( \frac{\omega_R^2}{\omega_s^2} - 1 + \frac{Q}{Q_m} \right) \right]^2 + \left[ \frac{c}{Q_m} \frac{\omega_R}{\omega_s} + cQ \left( \frac{\omega_R}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega_R} \right) \right]^2}, \text{ et}$$

$$15 \quad \eta = \frac{1}{1 + \frac{Q}{Q_m} c \left( 1 + \frac{1}{Q^2} \frac{\omega_R^2}{\omega_s^2} \right)}.$$

Les différentes sources de pertes sont à l'origine d'un échauffement de la structure. Or les propriétés du matériau piézoélectrique sont sensibles à la température du milieu. On peut donc vouloir dimensionner un transformateur 20 dont l'échauffement au cours du fonctionnement sera inférieur à une valeur  $\Delta\theta$  prédefinie. Les pertes par échauffement s'écrivent  $h_c S \Delta\theta$ , où  $S$  est la surface d'échange avec l'extérieur ( $S = 2A = A_1 + A_2$  pour un transformateur de faible épaisseur), l'échauffement ne

dépasse pas  $\Delta\theta$  si la condition suivante est respectée :

$$P_2 (1-\eta) / \eta < h_c S \Delta\theta.$$

En remplaçant  $\eta$  par l'expression ci-dessus, on obtient :

5       $1 - \frac{h_c S \Delta\theta Q_m}{P_2} \frac{1}{c} + \frac{\omega_R^2}{\omega_s^2} \frac{1}{Q^2} < 0$ , fonction de  $Q$  qui représente

l'influence du circuit à commander à l'aide du transformateur.

Le choix d'un point de fonctionnement  $Q$  pour le circuit permet, en utilisant un tel système d'équations, de déterminer les propriétés physiques et géométriques du transformateur. Ce point de fonctionnement peut par exemple être conditionné par des exigences de volume maximal du transformateur, des performances optimales, par exemple en termes de gain, de puissance transmise, de rendement, un compromis entre ces différentes exigences, ou autre. Deux exemples non limitatifs sont donnés ci-dessous.

On souhaite par exemple réaliser un transformateur constitué de deux armatures d'épaisseur  $e_1$ ,  $e_2$  et de surface  $A$ , et polarisé selon son deuxième mode en vibrations dans l'épaisseur. On choisit d'alimenter le transformateur par une tension d'alimentation  $V_1$ , à une fréquence d'alimentation  $f_R$ . Les armatures sont constituées d'un matériau donné, de coefficient de couplage  $k_t$ , de permittivité  $\epsilon_{33}$ , de facteur de qualité mécanique  $Q_m$ , de densité  $\rho$ , de module de Young  $c_{33}$ , de coefficient piézo-électrique  $e_{33}$ , et de coefficient de convection  $h_c$ . Le transformateur doit présenter un gain  $G$  proche de 1, et fournir une puissance  $P_2$  pour un échauffement maximal  $\Delta\theta$  à ne pas dépasser.

30      Les épaisseurs  $e_1$  et  $e_2$  sont relativement proches dans le cas de deux armatures monocouche, car une couche mince peut difficilement mettre en mouvement une couche

épaisse. En conséquence, le gain du transformateur sera proche de 1. Si on souhaite un gain très supérieur à 1, il peut être préférable d'utiliser au secondaire une structure multicouche en parallèle, et d'adapter en conséquence les 5 équations précédentes.

L'épaisseur totale  $e_{tot}$  est choisie pour que la fréquence d'alimentation  $f_R$  corresponde au deuxième mode de vibration du transformateur qui, dans le cas de deux armatures similaires, permet de minimiser les contraintes au 10 niveau des interfaces de collage et/ou de fixation, pour un gain optimal, comme décrit précédemment. L'épaisseur totale  $e_{tot}$  du transformateur peut ainsi être choisie de l'ordre de :

$$e_{tot} = e_1 + e_2 (+ e_3) = 2\pi/\omega_R (c_{33}/\rho)^{1/2}.$$

15 Pour des matériaux classiquement utilisés pour des armatures primaire et secondaire, par exemple pour le titanate de plomb (M5), le module d'élasticité dans l'épaisseur  $c_{33}$  peut par exemple être de l'ordre de 176 GPa, et la densité  $\rho$  de l'ordre de 7 400 kg/m<sup>3</sup>. Pour une 20 vibration à une fréquence de l'ordre de 2,1 MHz, on obtient une épaisseur totale d'environ 2,3 mm ce qui est compatible avec les tailles de circuit imprimé habituellement utilisées pour des transistors de puissance. A des fins d'intégration, l'épaisseur peut être encore réduite en utilisant une 25 fréquence d'excitation du transformateur plus élevée. Néanmoins, un compromis est nécessaire car une augmentation de la fréquence provoque une augmentation des pertes.

Les autres dimensions du transformateur ( $A$ ,  $e_1$ ,  $e_2$ ) sont maintenant déterminées par le choix d'un point de 30 fonctionnement  $Q$  du circuit. Deux choix pertinents, mais non exclusifs, sont décrits ci-dessous, mais le dimensionnement du transformateur peut aussi bien être effectué pour tout autre type de point de fonctionnement  $Q$ , en particulier dans

le cas d'un compromis entre les deux cas décrits ci-après.

Selon un premier exemple, on connaît la puissance  $P_2$  à transmettre. Cette puissance comprend la puissance effectivement délivrée au composant de puissance 19, et la 5 puissance éventuellement délivrée aux composants électroniques susceptibles d'être compris entre l'armature secondaire 8 du transformateur 100 et le composant de puissance 19.

On peut trouver deux points de fonctionnement  $Q_1$  et 10  $Q_2$  (les deux racines de l'équation de l'échauffement, qui est un polynôme du second degré en  $Q$ ) entre lesquels l'élévation de température en cours de fonctionnement sera inférieure à la valeur prédefinie de l'échauffement  $\Delta\theta$ . Pour ces deux points, l'échauffement du transformateur sera 15 sensiblement égal à  $\Delta\theta$  et la puissance délivrée à  $P_2$ . L'un ou l'autre de ces points peut être retenu.

$$\frac{1}{Q_{1,2}} = \frac{1}{2\omega_R^2} \left\{ \frac{2Ah_c\Delta\theta Q_m}{cP_2} \pm \sqrt{\left( \frac{2Ah_c\Delta\theta Q_m}{cP_2} \right)^2 - 4\frac{\omega_R^2}{\omega_s^2}} \right\}.$$

Dans ce premier exemple, on obtient deux dimensionnements possibles du transformateur. On peut alors 20 choisir celui qui semble le plus approprié, par exemple celui qui minimise le volume du transformateur.

Selon un deuxième exemple, on peut vouloir réaliser un transformateur piézo-électrique intégré présentant un rendement donné pour un échauffement et une résistance de 25 charge donnés. On peut par exemple choisir le point de fonctionnement  $Q_0$  correspondant au rendement optimal (ce point, correspondant aux pertes minimales, est situé entre  $Q_1$  et  $Q_2$ ).

$$Q_0 = \sqrt{1 + \frac{1}{2c}}.$$

30 Dans les deux exemples, on peut déterminer la

surface A des armatures primaire et secondaire et le rapport  $r=e_2/e_1$  des épaisseurs des armatures correspondant audit échauffement  $\Delta\theta$ , audit point de fonctionnement Q, et à ladite puissance à transmettre, à l'aide notamment de 5 l'expression de G et de  $P_2$ . On peut par exemple exprimer G et  $P_2$  en fonction de A et du rapport r, tous les autres paramètres étant connus et le facteur de qualité électrique Q s'exprimant également en fonction de A et de r. On résout de façon appropriée ce système, par exemple numériquement ou 10 graphiquement. On retrouve finalement l'épaisseur de chaque armature à partir de r et de  $e_{tot}$ .

On peut ainsi dimensionner un transformateur piézo-électrique intégré dans un circuit imprimé délivrant une puissance  $P_2$  pour un échauffement maximal autorisé  $\Delta\theta$ . En 15 utilisant les valeurs obtenues pour A et r dans les différentes équations, on peut identifier les différentes valeurs des composants du modèle équivalent, et en particulier les résistances de charge  $R_L$  admissibles comprises entre les valeurs  $R_{L1}$  et  $R_{L2}$  correspondant à  $Q_1$  et 20  $Q_2$ . On peut en outre prévoir les performances de fonctionnement dudit transformateur, car le rendement de transmission  $\eta$ , le gain, et la puissance transmise entre autres, sont liés aux caractéristiques du circuit et donc du matériau.

Par exemple, on étudie spécifiquement le cas d'un 25 transformateur piézo-électrique composé de deux armatures primaire et secondaire similaires en titanate de plomb (M5), de coefficient de couplage  $k_t=0,5$ , de permittivité  $\epsilon_{33}=179\epsilon_0$  (où  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide), de facteur de qualité 30 mécanique  $Q_m=400$ , de coefficient piézo-électrique  $e_{33}=8,5$ , et de coefficient de convection  $h_c=15 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-2}$ , le transformateur étant alimenté à une fréquence  $f_R=2,1 \text{ MHz}$ , et transmettant une puissance moyenne de  $P_2=1 \text{ W}$  pour un échauffement

inférieur à  $\Delta\theta=40^\circ\text{C}$ , à des tensions d'entrée  $V_1$  et  $V_2$  égales à 15 V ( $G=1$ ). On souhaite par exemple minimiser le volume de ce transformateur.

En choisissant  $Q_1$  comme point de fonctionnement, on obtient une épaisseur totale  $e_{\text{tot}} = 2,3 \text{ mm}$ , une surface  $A = 164,7 \text{ mm}^2$  et un rapport  $r = 0,89$  (soit environ  $e_1 = 1,1 \text{ mm}$  et  $e_2 = 1,2 \text{ mm}$ ). Le rendement d'un tel transformateur est  $\eta=0,89$  et la puissance dissipée dans le transformateur de 247 mW.

En choisissant  $Q_2$  comme point de fonctionnement, la résolution donne un rapport  $r$  supérieur à 6, ce qui donnerait des armatures d'épaisseur très différentes.

On peut également obtenir un rendement optimal en choisissant  $Q_0$  comme point de fonctionnement. On aurait obtenu une épaisseur totale  $e_{\text{tot}} = 2,3 \text{ mm}$ , une superficie  $A = 1000 \text{ mm}^2$ , et un rendement d'environ 0,95. Le volume est néanmoins supérieur au volume obtenu pour  $Q_1$ .

Le matériau constitutif des armatures peut être choisi en mettant en œuvre ce procédé pour différents types de matériaux disponibles, par exemple sur catalogue, et en sélectionnant celui offrant les caractéristiques les plus appropriées pour l'application souhaitée.

A cause des contraintes liées à la fabrication du transformateur (fabrication en série, ...), on peut bien sûr utiliser un transformateur de dimensions voisines ayant des performances voisines du cas décrit ici. En outre, un tel dimensionnement peut également être réalisé en prenant en compte la couche intermédiaire 6, les propriétés des moyens de fixation des armatures sur le substrat, ou d'autres paramètres négligés ici si, dans l'application souhaitée, ces paramètres s'avéraient importants.

Les armatures ainsi dimensionnées d'un transformateur piézo-électrique sont préparées et intégrées

dans le circuit imprimé, comme précédemment décrit.

La figure 5 représente schématiquement l'utilisation d'un transformateur piézo-électrique 100 intégré, pour réaliser une commande rapprochée d'un composant électronique 5 19 tel qu'un composant semi-conducteur de puissance, et en particulier un transistor MOSFET ou IGBT. L'armature primaire 4 est connectée à un circuit primaire PRIM, dont les composants sont par exemple fixés sur la première couche 2 du circuit imprimé (tel le composant électronique 3 de la 10 figure 1). L'armature secondaire 8 est connectée à un circuit secondaire SEC, dont les composants sont par exemple intégrés sur la deuxième couche 5 du circuit imprimé (tel le composant électronique 9 de la figure 1).

Pour avoir un rendement adéquat, le transformateur 15 100 doit être alimenté par un oscillateur OSC à une fréquence  $f_R$ , qui peut être par exemple une de ses fréquences de résonance, (en particulier, le deuxième mode de vibration dans l'épaisseur, de l'ordre de quelques MHz par exemple). Cette fréquence n'est généralement pas liée à 20 la fréquence du signal de commande SIC de la grille du transistor amorçant et bloquant le transistor et qui peut être de l'ordre du kHz ou de la dizaine de kHz par exemple.

On peut prévoir un module MOD, par exemple un HEF4013 de la Société Philips ou analogue qui transmet le 25 signal de commande SIC par exemple par une modulation pleine onde à la fréquence de résonance mécanique  $f_R$  du transformateur 100, qui peut être choisie très supérieure à la fréquence du signal de commande.

Le signal modulé ainsi transmis au transformateur 30 intégré est récupéré au niveau de l'armature secondaire 8 et doit être démodulé pour permettre la réalisation d'un dispositif de commande rapprochée fiable. En effet, le signal récupéré au niveau de l'armature secondaire 8 est

également à la fréquence  $f_R$ . On peut par exemple redresser ce signal, de manière classique, à l'aide d'un pont de diode 10, et le démoduler à l'aide d'un démodulateur DEM, qui détecte l'enveloppe du signal de sortie.

5 On peut alternativement réaliser une modulation d'amplitude à deux niveaux, ou encore une modulation à deux fréquences. Dans ce cas, le transformateur piézo-électrique peut être alimenté par un signal alternatif pouvant prendre 10 deux fréquences différentes. La modulation est par exemple obtenue par un multiplexeur piloté par le signal de commande, transmettant l'un ou l'autre de deux signaux de 15 fréquences voisines, émis par des oscillateurs.

Une démodulation appropriée du signal transmis par l'armature secondaire peut par exemple consister en 15 l'utilisation d'une PLL (« phase-locked loop ») fournissant une tension proportionnelle à la fréquence transmise, ou tout autre moyen approprié. Cette alternative permet une variation du rapport cyclique du signal entre 0 et 1. D'autres systèmes de modulation/démodulation sont 20 applicables dans le cadre de l'invention.

A la sortie du démodulateur DEM, lorsqu'un ordre de commutation intervient dans le signal de commande, l'établissement d'une tension de commande d'une amplitude suffisante pour commander le composant électronique de 25 puissance 19 est obtenu par exemple grâce à la capacité 14 qui stocke l'énergie fournie à l'armature secondaire 8.

Il y a un régime transitoire d'environ une dizaine de microsecondes, qui correspond au temps nécessaire à l'établissement d'un régime vibratoire stable dans le 30 transformateur 100. Ce temps de retard  $t_R$  est lié aux propriétés du matériau utilisé ( $t_R = 2e^2 p / \eta n$ ). On peut donc réduire le temps de retard  $t_R$  en diminuant l'épaisseur ou en augmentant la viscosité  $\eta$ , ce qui dans chaque cas accroît

les pertes dans le transformateur. Un compromis doit donc être réalisé entre temps de retard et pertes.

Pour s'affranchir des problèmes liés à ce temps de retard, on peut éventuellement prévoir un dispositif de verrouillage VER, par exemple sous la forme d'une bascule logique dont l'état est bloqué sur une durée prédéterminée après chaque ordre de commutation. Ce dispositif de verrouillage permet de fournir au nœud 11 de sortie, une tension redressée avec l'amplitude nécessaire pour la commande du composant électronique de puissance 19, tout en garantissant une grande fiabilité et en particulier une excellente robustesse aux perturbations électromagnétiques.

On peut ainsi fournir avec une excellente isolation galvanique un signal de commande rapprochée à un composant électronique de puissance 19.

La figure 6 représente la réalisation d'un bras de pont complet, utilisant deux transformateurs piézo-électriques 100 tels que précédemment décrits, intégrés dans un circuit imprimé, avec leurs armatures primaire et secondaire également telles que précédemment décrites. On peut par exemple prévoir que l'armature primaire de chaque transformateur soit intégrée sur une première couche 2 de circuit imprimé, et que leur armature secondaire, voire les composants électroniques de puissance 19, soient intégrés sur la deuxième couche 5. Chaque transformateur 100 permet de commuter un composant électronique 19 tel qu'un transistor IGBT (et la diode 15 adaptée) d'un bras de pont complet. Par exemple, ce bras de pont a une puissance de 3 kW (tension U maximale commutée de 300 V pour un courant maximum commuté  $I_0$  de 20 A) à 40 kHz, avec un rapport cyclique pouvant varier entre 0 à 1. La structure même de chaque transformateur 100 intégré assure l'isolation galvanique, et assure la robustesse du système vis-à-vis des

courants de mode commun, circulant à travers les deux commandes rapprochées, et en particulier les courants liés au couplage capacitif parasite entre les armatures primaire et secondaire des transformateurs 100. Ce couplage peut être  
5 élevé car les armatures primaire et secondaire présentent un coefficient de permittivité relativement élevé. Cette permittivité élevée permet néanmoins de réaliser un transformateur 100 présentant un champ de claquage élevé, par exemple de l'ordre de plusieurs kV/mm.

10 Contrairement aux dispositifs utilisés dans l'art antérieur pour réaliser une commande rapprochée d'un transistor à grille isolée, qui pouvaient nécessiter des composants bobinés non standard, le transformateur utilisé dans le cadre de l'invention est facilement  
15 industrialisable.

Il peut de plus être fortement miniaturisé, nécessitant ainsi de faibles coûts de fabrication.

REVENDICATIONS

1. Circuit électronique (1) muni d'un transformateur piézo-électrique (100) destiné à commander un composant électronique (19), dans lequel le transformateur (100) comprend une armature primaire (4) et une armature secondaire (8), constituées à partir d'un matériau piézo-électrique, et une couche intermédiaire (6) isolante, intercalée entre les armatures primaire (4) et secondaire (8), l'armature primaire (4) étant agencée pour transmettre, en réponse à un signal primaire transmis à l'armature primaire via le circuit électronique, un signal moteur à l'armature secondaire (8), à travers la couche intermédiaire (6), l'armature secondaire (8) délivrant au composant électronique (19) un signal secondaire, fonction du signal primaire, pour commander le composant électronique (19) auquel l'armature secondaire (8) est connectée,

caractérisé par le fait qu'il comporte une première couche (2) dans laquelle est intégrée l'armature primaire (4) et une deuxième couche (5) dans laquelle est intégrée l'armature secondaire (8), les première (2) et deuxième (5) couches étant galvaniquement isolées par la couche intermédiaire (6).

2. Circuit électronique selon la revendication 1, dans lequel les première (2) et deuxième (5) couches sont constituées d'un substrat de matériau choisi parmi du circuit imprimé, de la céramique et du semi-conducteur, et supportent chacune une face de circuit imprimé, les armatures primaire (4) et secondaire (8) étant fixées dans des évidements (13) préalablement ménagés respectivement dans chacune des couches.

3. Circuit électronique selon la revendication 2, dans lequel au moins une couche conductrice (6a) est

intercalée entre les première (2) et deuxième (5) couches.

4. Circuit électronique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le composant électronique (19) est un transistor de puissance intégré à 5 la deuxième couche (5) et comportant une grille recevant le signal secondaire.

5. Circuit électronique selon l'une des revendications précédentes, la première couche (2), comportant un circuit primaire (PRIM) comprenant un 10 modulateur (MOD) connecté à l'armature primaire (4), et adapté pour former le signal primaire avec une modulation d'au moins un signal porteur par un signal de commande (SIC), et pour délivrer à l'armature primaire (4) le signal primaire ainsi formé,

15 et la deuxième couche (5), comportant un circuit secondaire (SEC) comprenant un démodulateur (DEM), connecté entre l'armature secondaire (8) et le composant électronique (19), et adapté pour transmettre à ce composant électronique (19) un signal démodulé à partir du signal secondaire 20 correspondant au signal de commande.

6. Circuit électronique selon la revendication 5, dans lequel le circuit secondaire (SEC) comprend en outre un dispositif de redressement (10), connecté entre l'armature secondaire (8) et le démodulateur (DEM), et adapté pour 25 redresser le signal secondaire délivré par l'armature secondaire (8).

7. Circuit électronique selon l'une des revendications 5 et 6, dans lequel le circuit secondaire (SEC) comprend en outre un dispositif de verrouillage (VER) 30 connecté entre le démodulateur (DEM) et le composant électronique (19), et adapté pour délivrer au composant électronique (19) un signal démodulé fiabilisé.

8. Circuit électronique selon l'une des

revendications 5 à 7, comprenant un oscillateur (OSC) adapté pour délivrer au modulateur (MOD) le signal porteur à une fréquence proche d'une fréquence ( $f_R$ ) de résonance mécanique du transformateur (100).

5        9. Circuit électronique selon la revendication 8, dans lequel l'oscillateur (OSC) est adapté pour délivrer un signal porteur à une fréquence proche de la fréquence du deuxième mode propre de vibration du transformateur (100).

10      10. Circuit électronique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les armatures primaire (4) et secondaire (8) sont formées à partir d'un matériau piézo-électrique polarisé selon l'épaisseur.

15      11. Circuit électronique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le composant électronique (9) est un transistor MOSFET ou IGBT.

20      12. Circuit électronique selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre une armature primaire piézo-électrique supplémentaire intégrée à la première couche (2), et une armature secondaire piézo-électrique supplémentaire intégrée à la deuxième couche (5) et reliée à un composant électronique supplémentaire (19), les composants électroniques (19) étant connectés pour réaliser un bras de pont complet.

FIG.1.

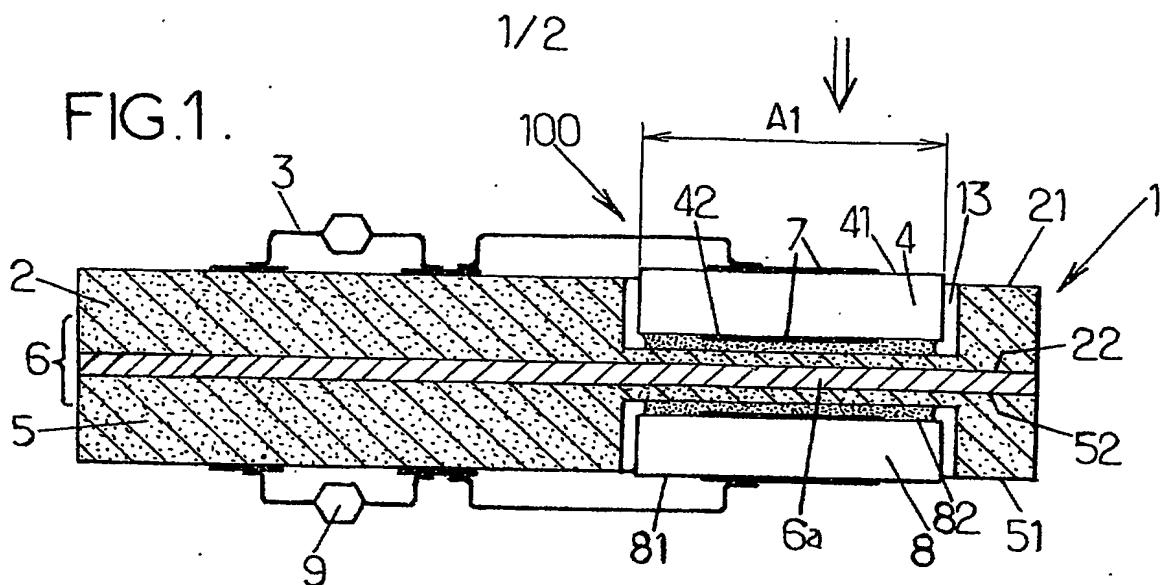


FIG.2.

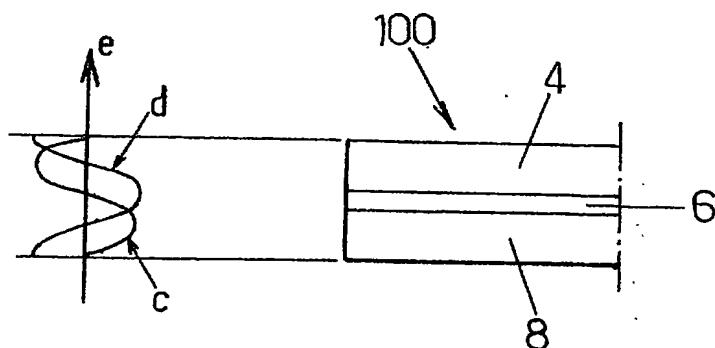


FIG.3.

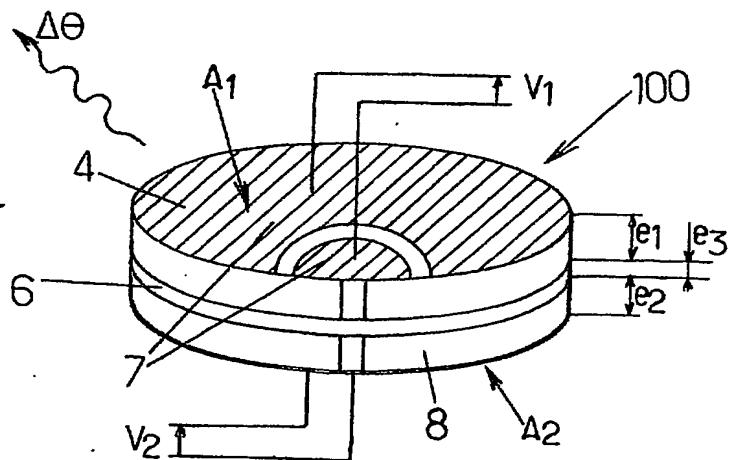
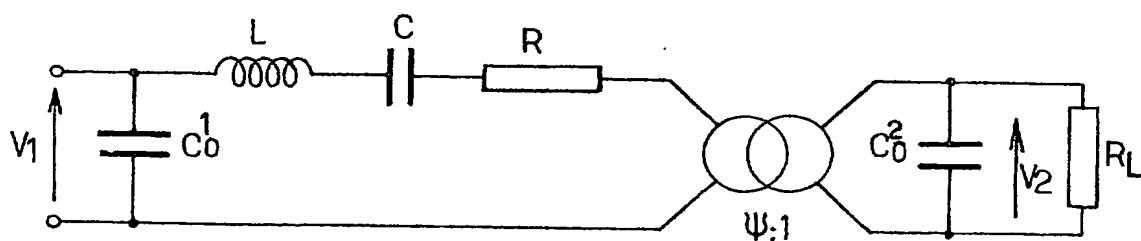
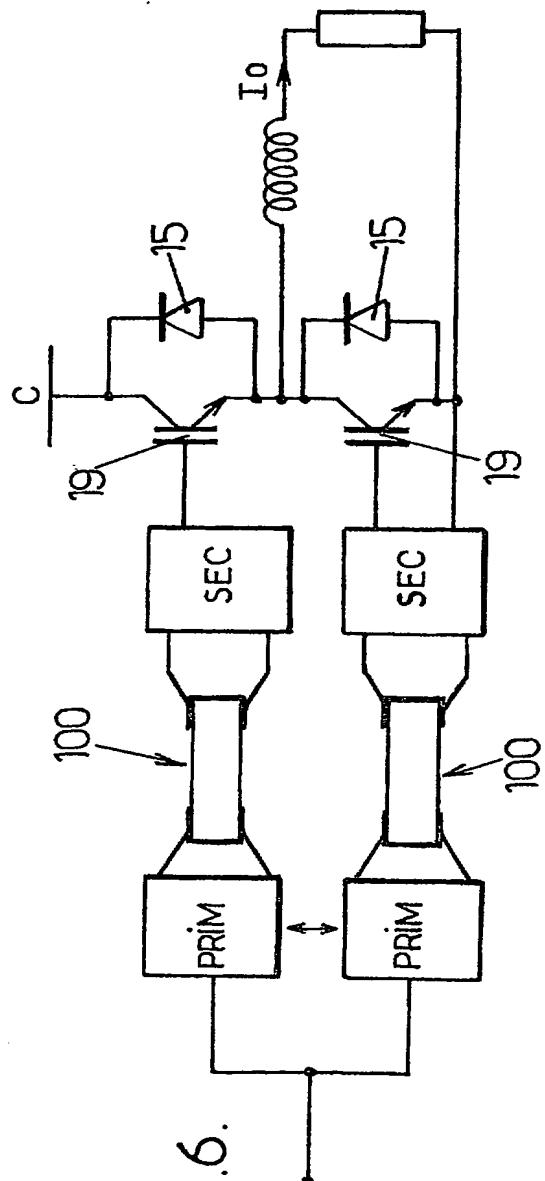
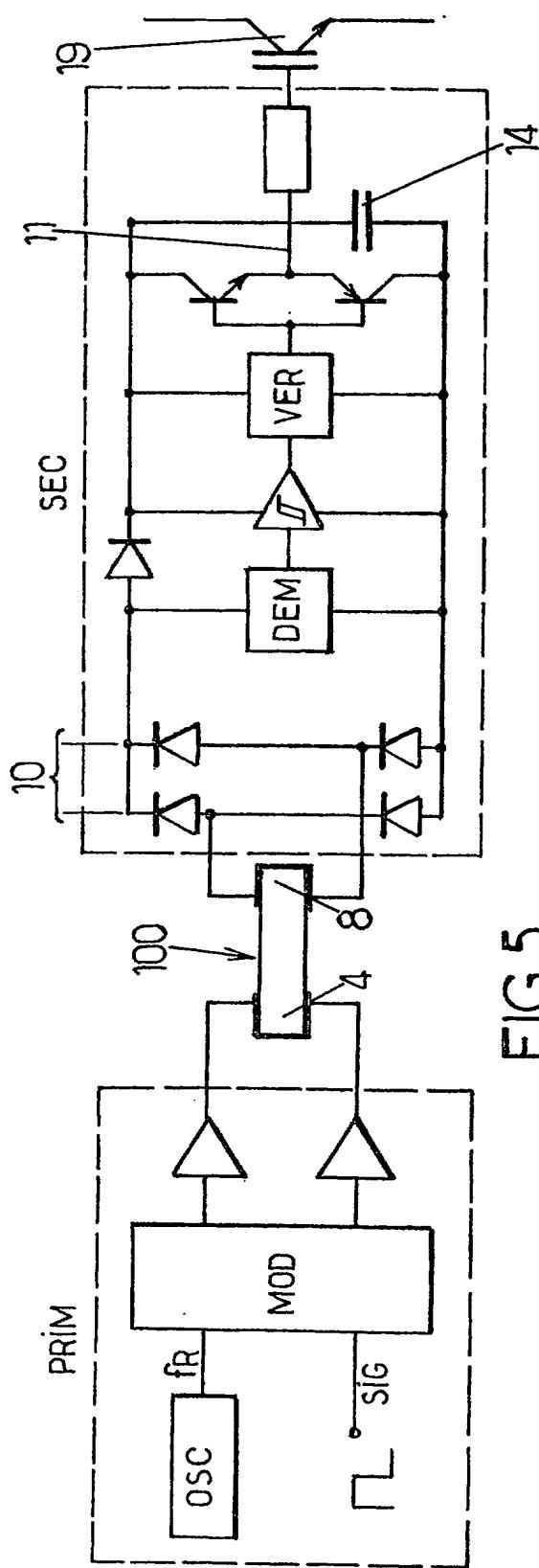


FIG.4.







**INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE**

ISSUE 10 | 1/2013

## BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11235\*03

Nº 11235\*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° .1. / 1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)			
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		BFF020410 0305601	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
CIRCUIT ELECTRONIQUE A TRANSFORMATEUR PIEZO-ELECTRIQUE INTEGRÉ			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :			
<input checked="" type="checkbox"/> Nom Prénoms		COSTA François	
Adresse	Rue	12, avenue Jean Jaurès	94230 CACHAN
	Code postal et ville		FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
<input type="checkbox"/> Nom Prénoms		VASIC Dejan	
Adresse	Rue	5, rue Léon Jouhaux	75010 PARIS
	Code postal et ville		FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
<input type="checkbox"/> Nom Prénoms		SARRAUTE Emmanuel	
Adresse	Rue	10, allée du bois Moussu	77420 CHAMPS SUR MARNE
	Code postal et ville		FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivie du nombre de pages.			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Le 7 mai 2003	
		CABINET PLASSEAUD	
		Régis GAREL	
		02-0303	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

PCT/FR2004/001041

